

**EPUSP – Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária**  
**PHA - 3402 – Portos, Navegação e Obras Marítimas e Fluviais**  
**Exercício 4 - Retificação e Canalização de Trecho de Rio**

Elaborar estudo técnico para Retificação e Canalização de trecho de rio, conforme desenho em anexo, visando aumentar sua capacidade de vazão para recuperação de áreas de várzea. Projetar a seção hidráulica definida com suas grandezas características,  $B_1, R_{H1}, b_1, h_1, i_1, A_1, P_1$ , assim como o novo comprimento  $L_1$ , do trecho. Deverão ser desenhadas as seções transversais para cada uma das alternativas 1 e 2 de projeto requeridas, assim como da seção inicial de projeto.

A elaboração do relatório relativo a este Exercício 4 deverá se basear na “Orientação de Metodologia para Elaboração de Relatório” dada, a exemplo do relatório anterior, sem que seja literalmente ela. Cada grupo deverá ter sua própria estrutura de relatório. Texto e desenhos à mão e cálculos com os recursos disponíveis.

Em anexo a esse texto, são apresentadas as seções transversais ao longo do trecho (1 a 5), em escala 1:200, e o seu desenvolvimento em planta com a escala indicada, no desenho, de 1:2000 que no entanto está distorcida. Por isso deverá redefinir esta escala através do desenho do trecho original que tem comprimento  $L_0 = 1.271 \text{ m}$ .

**Dados :**

- Hidrologia : Vazão para  $T_R = 50$  anos  $\rightarrow Q = 80 \text{ m}^3/\text{s}$  .
- Geologia : Entre as seções 1 e 5 : solo argilo – arenoso com compactação de média a grande ( índice de vazios : 0,6 a 0,3 ).
- Tensão Crítica no fundo :  $\tau_{c,0} = 15,68 \text{ N/m}^2$  ( anexo 1 )
- Tensão Crítica nas margens :  $\tau_{c,m} = 7,84 \text{ N/m}^2$  .
- Topografia : A topografia do local está apresentada na planta, em escala a ser redefinida, e a batimetria através de 5 seções transversais em escala 1:200 .
- Comprimento do trecho, entre as seções 1 e 5 :  $L_0 = 1.271 \text{ m}$  .
- Inclinação das margens : 1 ( V ) : 2 ( H ) :  $\text{Cotg } \theta = 2$
- Coeficiente de manning :  $n = 0,025$  ( anexo 2 )
- As formulações são as mesmas utilizadas no exercício 2.
- Como o solo do leito é argilo-arenoso, não são válidas as equações das tensões críticas utilizadas na verificação da estabilidade, como no exercício 2 ( Material não coesivo ). Por isso foram dados os valores destas

tensões críticas ( material coesivo – Ensaio de Laboratório para obtenção da Tensão crítica de cisalhamento ) no anexo 2, inserido no Moodle.

- Para o material de proteção os dados e as formulações são os mesmos do exercício 2 ( material Não coesivo ).

## **Roteiro de Trabalho :**

1. Desenhar o novo traçado ( Desenho em planta ). O novo traçado fará resultar em novo comprimento (  $L_1$  ) e nova declividade (  $i_1$  ). Com o comprimento dado do trecho original  $L_0 = 1.271$  m , no desenho em anexo, a escala indicada de 1:2.000 deverá ser redefinida. Definir o traçado retificado e com ele o seu comprimento  $L_1$  , com sua nova declividade. Atentar para as limitações da área de contorno do trecho do rio e de suas próprias condicionantes, como indicado abaixo:

Seção 1 : Seção inicial sem aspectos peculiares.

Seção 2 : Passagem de estrada de ferro. Neste caso não há detalhes sobre aspectos construtivos nesta seção. Dimensionar normalmente a seção.

Seção 3 : Fundo com afloramento rochoso. Dentre as várias alternativas possíveis, deverá ser escolhida a de se manter este fundo inalterado, por questões ambientais e econômicas. O novo traçado deverá passar obrigatoriamente por ela.

Seção 4: Seção sem aspectos peculiares.

Seção 5 : Seção final em corredeira ( afloramento rochoso ). Será mantido nas mesmas condições.

Limitações da área : A área contígua à seção 3 está reservada para a implantação de lagoas de estabilização, para tratamento de esgoto. Isso define a passagem lateral do traçado de retificação neste trecho, para preservá-la.

O novo traçado não fica condicionado às condições naturais, originais, de traçado deste trecho de rio.

Os raios de curvatura constantes do novo traçado deverão estar compreendidos entre :  $3B \leq R_c \leq 6B$  ; para curvas de desenvolvimento médio do curso d'água, onde B é a largura da superfície livre ( hidráulica ) na seção correspondente.

O novo traçado passará, então, pelas seções 1,2,3 e 5. Cada grupo terá seu próprio traçado e conseqüentemente sua declividade (  $i_1$  ).

Este traçado poderá ser digitalizado e todos estes valores serem calculados em função deste procedimento.

## 2. Determinação da Seção Hidráulica :

- Admitir folga de 20% em relação a altura média da seção do canal (  $Y$  ) ou mínimo de 0,50 m .
- Admitir escoamento uniforme no trecho em questão ( equação de Manning ).
- Identificar o que seja dado e o que seja incógnita do problema.
- Para apenas esta equação de Manning, há duas incógnitas (  $h_1$  e  $b_1$  );
- Considere as seções transversais, principais, dadas, de 1 a 5. Considere como sendo  $Y$  o valor médio das alturas dessas seções principais ( Desenho em escala 1: 200 ).  $Y = \sum y_i / 5$  , onde  $y_i = \text{Cota máxima} - \text{Cota mínima}$  de cada seção transversal principal e  $i$  variando de 1 a 5. Deste modo  $h_1 = Y - f$  , onde  $f = \text{folga}$  e  $0,5 \leq f \leq 0,20 Y$  .
- Grandezas características da seção hidráulica trapezoidal, inicial de projeto, que deverão ser determinadas : Largura da base (  $b_1$  ) ; Altura da lâmina d'água (  $h_1$  ) ; Raio hidráulico (  $R_{H1}$  ) ; Área da seção Molhada (  $A_1$  ) ; Perímetro Molhado (  $P_1$  ) .
- Fazer o Desenho desta seção transversal ( 1 ) , em escala, indicando todas as grandezas hidráulicas.

## 3. Verificação da Estabilidade da seção ( Fundo ) determinada :

- Calcular a Tensão devido ao escoamento (  $\tau_{0,1}$  ), junto ao fundo, para essa condição inicial de projeto .
- Admitir coeficiente de segurança  $C.S=1,2$  na análise comparativa entre a tensão  $\tau_{0,1}$  e a tensão crítica de início de movimento do material do fundo (  $\tau_{c,0}$  ) .

## 4. Caso o fundo seja instável, projetar alternativas hidráulicas de estabilidade :

Considerando a tensão exercida pelo escoamento junto ao fundo :  $\tau_0 = \rho \cdot g \cdot R_H \cdot i$  , observa-se que se poderá minimizá-la, diminuindo-se a declividade (  $i_2$  ) , item 4.1, ou minimizá-la, diminuindo-se o raio Hidráulico (  $R_{H3}$  ), item 4.2.

#### 4.1. Diminuição da declividade ( $i_2$ ), com introdução de degrau.

Estabelecida a condição de instabilidade do leito, fundo do canal, requer-se um projeto em que se estabeleça esta condição de estabilidade.

Com a determinação da nova declividade  $i_2 < i_1$  haverá um desnível, resultando em um degrau, que sugere-se seja inserido na seção 3, por já se ter ali uma seção estável, com afloramento rochoso. Não há detalhes de informações batimétricas junto desta seção.

Para este caso do Item 4.1, com as três grandezas interdependentes, comum a projetos desta natureza,  $b, h$  e  $i$ , admite-se uma das hipóteses possíveis, em que  $h_2 = h_1$ . Ou seja, admite-se que a altura do novo escoamento,  $h_2$ , seja igual à altura média do escoamento nas condições originais deste trecho, trecho natural,  $h_1$ , onde a seção transversal encontra-se estável.

Com a equação de Manning,  $Q = 1/n R_{H2}^{2/3} i_2^{1/2} A_2$ , e a equação em que se impõe a estabilidade do fundo,  $CS \times \tau_{o,2} \leq \tau_{o,c}$ , tem-se duas equações e duas incógnitas (  $b_2, i_2$  ) que se resolvidas, permitirão chegar-se a uma primeira condição de projeto.

Deve-se fazer um desenho esquemático da seção longitudinal deste trecho, contendo o degrau, e calcular-se a altura do degrau,  $\Delta Z_D$ , indicando-o junto da seção 3. Deve-se, para isso, equacionar este trecho geometricamente, desenhando-se as declividades  $i_1$  ( inicial ) e  $i_2$  ( projetada ), concomitantemente, neste trecho.

##### 4.1.1 Determinar a proteção da margem, com enrocamento, caso necessária.

Para o projeto de proteção das margens, deve-se proceder a exemplo do que foi estudado no exercício 2.

Fazer o Desenho desta seção transversal ( 2 ), em escala, indicando todas as grandezas hidráulicas, inclusive com a proteção das margens.

#### 4.2 Diminuição do Raio Hidráulico ( $R_{H3}$ ) com o alargamento da seção.

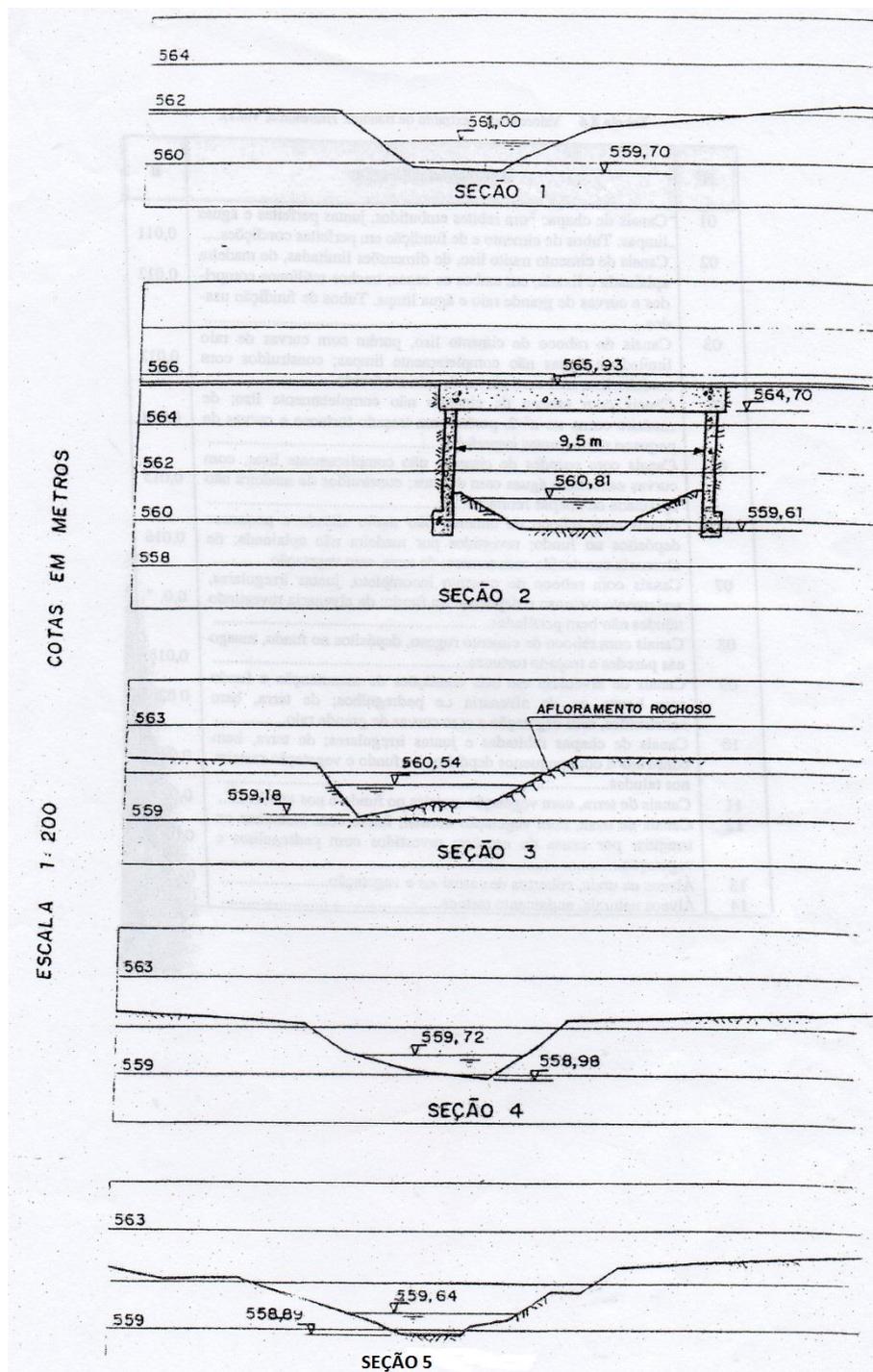
Para a obtenção da condição de estabilidade de fundo deste trecho de rio, para esta segunda alternativa de projeto ( 3 ), deverá se buscar procedimento hidráulico conforme os dados disponibilizados e procedimentos já orientados.

4.2.1 Determinar a proteção da margem, com enrocamento, caso necessária.

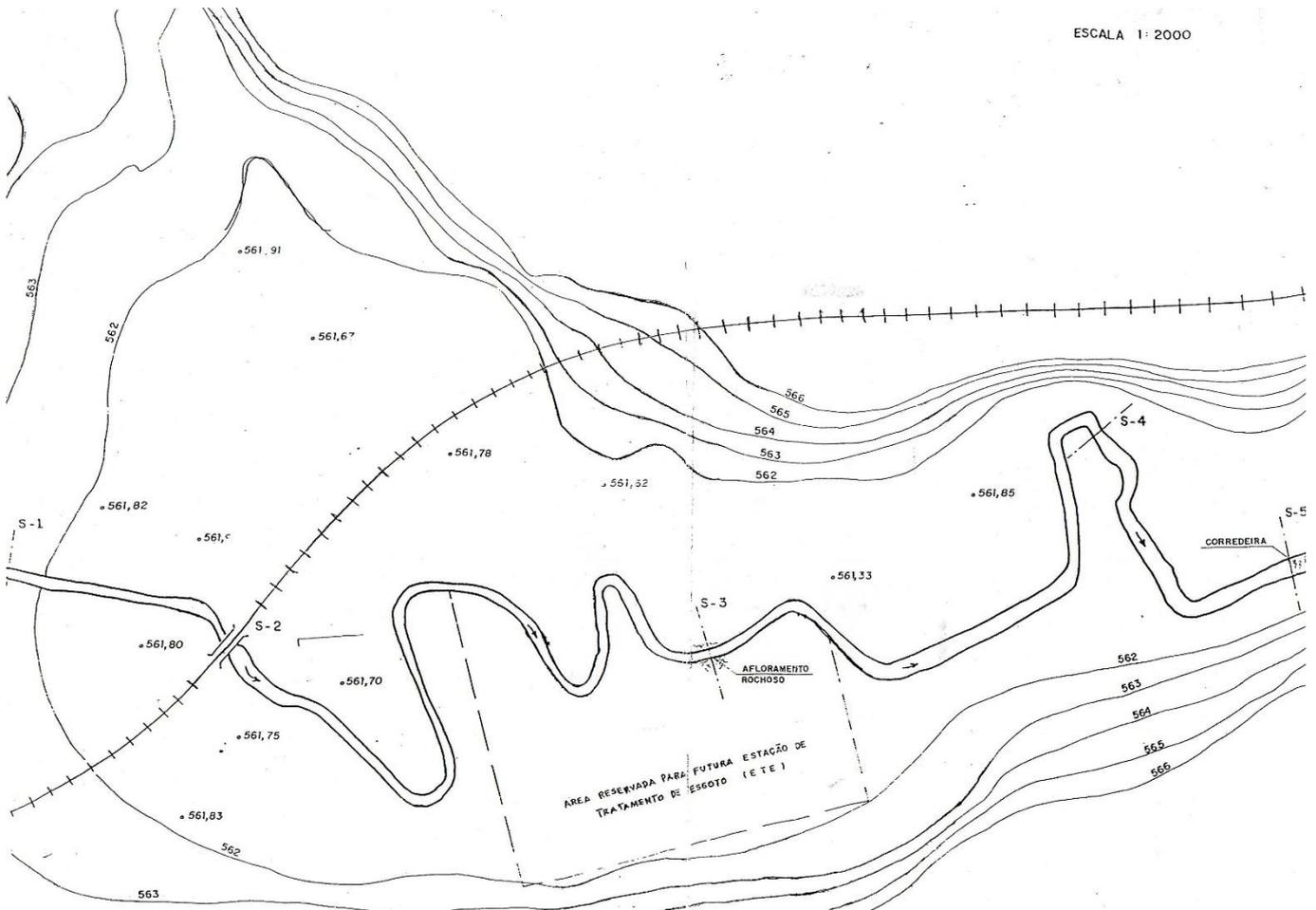
Para o projeto de proteção das margens, deve-se proceder a exemplo do que foi estudado no exercício 2 .

Fazer o Desenho desta seção transversal ( 3 ), em escala, indicando todas as grandezas hidráulicas, inclusive com a proteção das margens.

### Seções Transversais do trecho de rio



## Desenvolvimento em Planta do Trecho de rio.



### Formulação para material Não Coesivo :

Tensão crítica de início de movimento do material junto ao fundo:  $\tau_{o,c} = \tau_* g (\rho_s - \rho) d_{50}$  ( $N/m^2$ )

Tensão tangencial junto ao fundo, devido a ação do escoamento  $\tau_o = \gamma R_H i$

Condição de Equilíbrio :

$$CS \times \tau_o \leq \tau_{o,c} \quad \rightarrow \quad CS \times \gamma R_H i \leq \tau_* g (\rho_s - \rho) d_{50}$$

Tensão crítica do material da margem :  $\tau_{m,c} / \tau_{o,c} = \sqrt{(1 - \text{sen}^2\theta / \text{sen}^2\phi_{\text{marg.}})}$